

数字电子技术

education
教育

刘南平 李 擎 主编

科学出版社
www.sciencep.com

数字电子技术

刘南平 李 擎 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书依据数字电子技术课程的教学大纲,由多位学科教授审定内容结构,并结合作者多年的一线教学经验编写而成,是一本适合高职高专使用的配套教材。

全书分基础理论和实验实训两篇。基础理论篇共9章,内容包括数字电路基础、集成逻辑门、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、半导体存储器、可编程逻辑器件及其应用、脉冲单元电路、模/数转换器和数/模转换器等。各章末附有思考练习题,有助于读者复习学习内容。实验实训篇分为基本实验和课程设计实训两部分。基本实验强调学习结合各章基础理论进行与之相对应的应用实践活动;课程设计实训则要求学生综合阶段学习内容设计实现更具创造性的应用项目。考虑到各校的实际情况,实验实训部分淡化了教学设备对实验内容的束缚,使各校可根据实际情况进行取舍。

本书从基本概念、基本原理、应用技术入手,辅以课内外的例题、习题,同时选择实验实训强化应用能力,完成数字电子技术课程完整的教学、培养目标。

本书可作为高等职业、专科院校自动化、电子、通信、计算机等相关专业课程教材,也可供从事电子技术的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/刘南平,李擎主编. 北京:科学出版社,2005
ISBN 7-03-015796-6

I. 数… II. ①刘…②李… III. 数字电子技术-教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 069288 号

责任编辑:赵方青 崔炳哲/责任制作:魏 谨

责任印制:刘士平/封面设计:朱 平

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年9月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2005年9月第一次印刷 印张:16 3/4

印数:1—4 000 字数:334 000

定 价:26.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

为满足全国高等职业院校强、弱电类专业的教学要求,加快我国应用型人才培养的步伐,科学出版社组织策划、出版了强、弱电类专业课程系列教材。本书即是该系列教材之一。

本教材在编写中突出了以下特点:

(1) 内容分基础理论和实验实训两大部分。基础理论部分在以理论知识够用为前提,注重讲清基本概念、基本原理和基本分析方法,并考虑到高职院校学生基础,尽可能避免烦琐的数学公式推导和大篇幅的理论分析。

实验实训部分结合各章节理论,强化了学生实际应用能力的培养。同时考虑到各校实际情况,淡化教学设备对实验内容的束缚,使各校可根据实际情况取舍。

(2) 易于入门。除了将数制和编码、逻辑代数和逻辑函数的化简在第1章讲述以外,其他各章都从基本概念入手,由浅入深。

(3) 体现实用性。对典型功能部件着重叙述其功能表,不对其内部逻辑图进行分析;典型电路着重分析其功能和外部特性,并通过实例使学生掌握其使用方法。

(4) 反映新技术。数字电子技术是发展很快的一门技术,必须使学生在掌握基本概念、基本原理的基础上,了解新技术,为此本书安排了“可编程逻辑器件及其应用”一章,让学生对数字电路的新器件、新的设计方法有所了解。

(5) 加强实践环节。本书配有一定数量的应用性、实用性很强的应用实例,把基本理论与应用有机地结合在一起。每章末附有思考与练习题,以便提高学生的独立分析问题和解决实际问题的能力。

总之,针对高等职业教学的特点、目标,本教材坚持“上岗快,用得着;重实际,侧技能”的编写原则,力求深入浅出,学以致用,方便自学和参考。

书中带“*”号的章节是在教学基本要求的基础上加深(或加宽)的内容,可根据专业需要和学时选择使用。

本书第1章、第9章及实验实训篇由天津职业大学刘南平老师编写;第2~4章由天津职业大学李世杰老师编写;第5~8章由石家庄信息工程职业学院李擎老师编写。刘南平负责全书的统稿工作并担任主编,李擎任副主编。

天津铁路工程学校卜爱琴老师主审全书,河北工业大学齐兆艺教授、天津大学电子信息学院多位教授对初稿提出了宝贵的意见和建议;编审过程中得到了天津

职业大学李雅轩教授、科学出版社刘晓融编审和崔炳哲、赵方青编辑的大力支持。在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之时间紧迫,书中难免存在问题或错误,敬请各位读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 篇 基础理论

第 1 章 数字电路基础	3
1.1 数字信号和数字电路	3
1.2 数制及其转化	4
1.2.1 十进制	4
1.2.2 二进制	5
1.2.3 二进制数和十进制数之间的转换	5
1.2.4 十六进制数和八进制数	7
1.3 二进制数和十六进制数的算术运算	8
1.3.1 二进制数的算术运算	8
1.3.2 十六进制数的算术运算	9
1.4 二进制代码(BCD 码)	10
1.5 逻辑函数及其化简	11
1.5.1 逻辑代数	11
1.5.2 基本逻辑运算	12
1.5.3 逻辑函数和真值表	13
1.5.4 逻辑函数的相等	15
1.5.5 逻辑代数的基本公式	16
1.5.6 逻辑代数的三条基本规则	17
1.6 逻辑函数的化简	18
1.6.1 逻辑函数的最简形式	18
1.6.2 逻辑函数的公式化简法(代数法)	19
1.6.3 逻辑函数的图简法(卡诺图法)	20
1.6.4 具有无关项的逻辑函数化简	26
思考与练习题	27
第 2 章 集成逻辑门	29
2.1 晶体管的开关特性	29

2.1.1 二极管的开关特性	29
2.1.2 晶体三极管的开关特性	32
2.2 基本晶体管门电路	34
2.3 晶体管 晶体管集成逻辑门(TTL)电路	37
2.3.1 TTL 与非门电路的主要外部特性	37
2.3.2 TTL 或非门、集电极开路门和三态输出门	41
2.3.3 TTL 集成电路的系列产品	43
2.4 发射极耦合逻辑电路与集成注入逻辑电路	44
2.4.1 发射极耦合逻辑(ECL)门	44
2.4.2 I^2L 逻辑门	45
2.5 MOS 逻辑门电路	45
2.5.1 MOS 晶体管	45
2.5.2 MOS 反相器和门电路	47
2.6 CMOS 逻辑门电路	49
2.6.1 CMOS 反相器	50
2.6.2 CMOS 门电路	51
2.6.3 CMOS 传输门电路	52
思考与练习题	53
第 3 章 组合逻辑电路	55
3.1 组合逻辑电路的分析	55
3.2 组合逻辑电路的设计	57
3.3 常用组合逻辑电路的分析与设计	59
3.3.1 全加器	59
3.3.2 编码器	60
3.3.3 译码器	66
3.3.4 数值比较器	69
3.3.5 数据选择器	73
3.4 组合逻辑电路的冒险现象	75
3.4.1 静态逻辑冒险	75
3.4.2 如何判断是否存在逻辑冒险	76
3.4.3 如何避免逻辑冒险	77
思考与练习题	78
第 4 章 集成触发器	80
4.1 基本 RS 触发器	80
4.1.1 基本 RS 触发器电路组成和工作原理	80

4.1.2 触发器的功能描述	82
4.2 钟控触发器	83
4.2.1 钟控 RS 触发器	84
4.2.2 钟控 D 触发器	85
4.2.3 钟控 JK 触发器	86
4.2.4 钟控 T 触发器	87
4.3 主从触发器	88
4.3.1 主从触发器基本原理	88
4.3.2 主从 JK 触发器	89
4.3.3 集成主从 JK 触发器	91
4.3.4 集成主从 JK 触发器的脉冲工作特性	92
4.4 边沿触发器	93
4.4.1 维持-阻塞边沿触发器	93
4.4.2 利用传输延迟的边沿触发器	95
4.4.3 CMOS 门构成的边沿触发器	97
思考与练习题	99
第 5 章 时序逻辑电路	102
5.1 时序逻辑电路概述	102
5.2 时序逻辑电路的分析	104
5.2.1 时序逻辑电路的分析步骤	104
5.2.2 寄存器、移位寄存器	105
5.2.3 同步计数器	110
5.2.4 异步计数器	115
5.3 时序逻辑电路的设计	117
5.3.1 同步时序逻辑电路设计的一般步骤	117
5.3.2 采用小规模集成电路器件设计同步计数器	121
5.3.3 采用小规模集成电路器件设计异步计数器	124
5.3.4 采用中规模集成电路器件实现任意进制计数(分频)器	126
5.4 序列信号发生器	129
5.4.1 计数器型序列信号发生器设计	130
5.4.2 移存器型序列信号发生器设计	131
思考与练习题	134
* 第 6 章 半导体存储器	138
6.1 概 述	138
6.1.1 半导体存储器的分类	138

6.1.2 半导体存储器的主要技术指标	139
6.2 随机存取存储器(RAM)	139
6.2.1 RAM 的电路结构	139
6.2.2 RAM 存储单元	142
6.2.3 静态 RAM 集成片简介	144
6.2.4 RAM 存储容量的扩展	146
6.3 只读存取存储器(ROM)	148
6.3.1 固定 ROM	149
6.3.2 可编程 ROM(PROM)	150
6.3.3 可擦除可编程 ROM	151
6.4 用 ROM 实现组合逻辑函数	153
思考与练习题	155
* 第 7 章 可编程逻辑器件及其应用	156
7.1 可编程逻辑阵列(PLA)器件	156
7.2 可编程阵列逻辑(PAL)器件	159
7.2.1 PAL 器件的基本结构	159
7.2.2 PAL 器件的输出结构	160
7.2.3 PAL 器件的应用	162
7.3 通用阵列逻辑(GAL)器件	164
7.3.1 GAL 器件的基本类型	165
7.3.2 GAL 器件的基本结构	166
7.3.3 GAL 器件的输出逻辑宏单元 OLMC	167
7.3.4 GAL 器件的工作模式	169
7.3.5 GAL 器件应用	171
7.4 复杂可编程逻辑器件 CPLD	173
7.4.1 CPLD 的基本结构	174
7.4.2 CPLD 典型器件及其应用	176
7.5 现场可编程逻辑器件 FPGA	177
7.5.1 概 述	177
7.5.2 FPGA 器件的基本结构	178
7.5.3 FPGA 应用举例	181
思考与练习题	183
* 第 8 章 脉冲单元电路	185
8.1 脉冲信号和脉冲电路	185
8.1.1 脉冲信号	185

8.1.2 脉冲电路	186
8.2 集成门构成的脉冲单元电路	187
8.2.1 施密特触发器	187
8.2.2 单稳态触发器	190
8.2.3 多谐振荡器	191
8.3 555 定时器及其应用	192
8.3.1 555 定时器的电路结构	192
8.3.2 用 555 定时器构成施密特触发器	194
8.3.3 用 555 定时器构成单稳态触发器	194
8.3.4 用 555 定时器构成多谐振荡器	195
思考与练习题	197
* 第 9 章 模/数转换器和数/模转换器	200
9.1 概 述	200
9.2 数/模转换器(DAC)	201
9.2.1 T 形电阻网络 DAC	201
9.2.2 倒 T 形电阻网络 DAC	202
9.2.3 集成 DAC 芯片	204
9.2.4 DAC 的主要技术指标	206
9.3 模/数转换器(ADC)	207
9.3.1 抽样保持	207
9.3.2 量化编码	208
9.3.3 逐次逼近型 ADC	209
9.3.4 集成 ADC 芯片	210
9.3.5 ADC 的主要技术指标	212
思考与练习题	213

第 2 篇 实验实训

实验 1 TTL 集成与非门主要参数测试	217
实验 2 CMOS 集成逻辑门的参数测试	222
实验 3 加法器实验	226
实验 4 数据选择器实验	230
实验 5 触发器实验	234
实验 6 计数器及其应用	237
实验 7 四位双向移位寄存器	240
实验 8 555 集成定时器及其应用	245

实验 9 D/A, A/D 转换器	247
课程设计实训 1	250
课程设计实训 2	251
课程设计实训 3	251
附 录	252
参考文献	258

第



篇

基础理论

- 第1章 数字电路基础
- 第2章 集成逻辑门
- 第3章 组合逻辑电路
- 第4章 集成触发器
- 第5章 时序逻辑电路
- * 第6章 半导体存储器
- * 第7章 可编程逻辑器件及其应用
- * 第8章 脉冲单元电路
- * 第9章 模/数转换器和数/模转换器

第 1 章 数字电路基础

本章介绍了数字信号、数字电路的基本概念,数制及其转化和数字逻辑的基本知识。数字信号在时间上和数值上都是离散的信号。逻辑与、或、非是逻辑代数中最基本的运算。逻辑函数可以用最简表达式表示,也可以用真值表或卡诺图来表示。逻辑函数的化简方法主要有代数法(公式法)和卡诺图法(图简法)。

● 重点:逻辑函数及其化简;卡诺图法。

● 难点:卡诺图法。



1 数字信号和数字电路

电子电路所处理的电信号可以分为两大类:一类是在时间和数值上都是连续变化的信号,称为模拟信号,例如电流、电压等;另一类是在时间和数值上都是离散的信号,为数字信号。

数字信号通常用 0 和 1 来表示。这里的 0 和 1 不是十进制中的数字,而是逻辑 0 和逻辑 1,我们称之为二进制数。用 0 和 1 两个量表示电路状态非常方便,如电压的高低、晶体管的饱和与截止、开关的通断等。

用来传输、控制或变换数字信号的电子电路称为数字电路。相对模拟电路而言,数字电路具有误差小、抗干扰性强、精度高、数据易保存等优点。

数字(集成)电路广泛应用于各个领域,产品的种类比较多,其分类方法如下:

按电路逻辑功能可以分成组合逻辑电路和时序逻辑电路。组合逻辑电路,简称组合电路,如门电路(与门、或门和非门)、编码器、译码器等,组合电路的特点是电路的输出信号仅与该时刻的输入信号有关而与电路原来所处的状态无关;时序逻辑电路,简称为时序电路,如触发器、计数器、寄存器等,时序电路的特点是输出状态不仅与电路输入信号时间顺序有关,而且与电路原有状态有关。

按电路结构可分成 TTL(Transistor-Transistor Logic,晶体管-晶体管集成逻辑门)型和 CMOS(Complementary Metal-Oxide-Semiconductor,互补金属氧化物半导体性存储器)型两大类。常见的 TTL 型有 TTL54/74 系列,它们的共同特性有:电

源电压为 5.0V, 逻辑“0”的输出电压 $\leq 0.2\text{V}$, 逻辑“1”的输出电压 $\geq 3.0\text{V}$, 抗扰度为 1.0V。CMOS 型数字集成电路比 TTL 型具有更多的优点: 其工作电源电压范围宽, 静态功耗低、抗干扰能力强、输入阻抗高、成本低等。

按电路用途可分成通用型 IC(Integrated Circuit, 集成电路)、微处理器(MPU: Micro-Processor Unit)和特定用途的 IC(如可编程逻辑器件等)三大类。

2 数制及其转化

表示数值大小的各种计数方法统称为计数制, 简称为数制。人们在日常生活中最常用的是十进制计数法, 在数字电路和计算机中, 主要采用二进制计数, 有时也采用八进制或十六进制计数法。

在任何一种数制中, 每一个数都可以由用小数点隔开的整数部分和小数部分组成。

2.1 十进制

在十进制中, 用 0, 1, 2, ..., 9 这 10 个不同的数码按照一定的规律排列起来表示数值的大小, 其计数规律是“逢十进一”。十进制数是以 10 为基数的计数体制。当数码处于不同的位置时, 它所表示的数值也不相同。例如十进制数 862.6, 可以把它表示成:

$$(862.6)_{10} = 8 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 2 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1}$$

括号加下标“D”(Decimal)或“10”表示十进制数。等式右边中的 $10^2, 10^1, 10^0, 10^{-1}$ 标明数码在该位的“权”, 称为“位权”。不难看出各数位表示的数值就是该位数码(系数)乘以相应的权。按此规律, 任意一个整数十进制数 $(N)_{10}$ 都可以写成按权展开式, 其表示为:

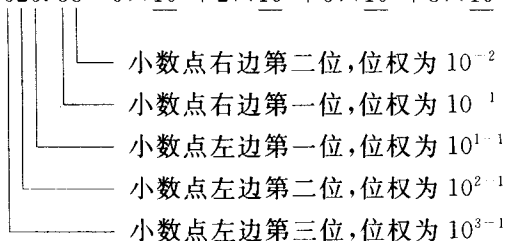
$$\begin{aligned}(N)_{10} &= K_{n-1} \times 10^{n-1} + K_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + K_1 \times 10^1 + K_0 \times 10^0 \\ &= \sum_{i=0}^{n-1} K_i \times 10^i\end{aligned}$$

式中, K_i 代表第 i 位的系数, 可取 0~9 这 10 个数码中的任一个; 10^i 为第 i 位的权; n 为原数的位数。对小数数制, 小数点右边第一位对应的位权是 10^{-1} , 小数点右边第二位对应的位权是 10^{-2} , 依此类推小数点右边第 m 位对应的位权就是 10^{-m} 。

根据上述方法可以很方便地把十进制数用位权的形式表示出来。

【例 1.1】 用位权来表示十进制数 625.38。

【解答】 $625.38 = 6 \times \underline{10^2} + 2 \times \underline{10^1} + 5 \times \underline{10^0} + 3 \times \underline{10^{-1}} + 8 \times \underline{10^{-2}}$



2 二进制

二进制数是以 2 为基数的计数体制。它只有 0 和 1 两个数码, 采用“逢二进一”的计数规律。任意一个整数二进制数 $(N)_B$ 都可以写成按权展开式, 即

$$(N)_B = K_{n-1} \times 2^{n-1} + K_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + K_1 \times 2^1 + K_0 \times 2^0$$

在 $\sum_{i=0}^{n-1} K_i \times 2^i$ 中, 下标“B”(Binary) 或“2”表示二进制数; 二进制数用位权表示的方法与十进制基本相同, 只是二进制的位权是以 2 为底的幂, 而十进制的位权是以 10 为底的幂。 K_i 表示第 i 位的系数, 只能取 0 或 1。例如二进制数 1011.01, 可以把它表示成:

$$(1011.01)_B = 1 \times \underline{2^3} + 0 \times \underline{2^2} + 1 \times \underline{2^1} + 1 \times \underline{2^0} + 0 \times \underline{2^{-1}} + 1 \times \underline{2^{-2}}$$

显然, 二进制数比较简单, 只有 0 和 1 两个数码, 所以二进制数在数字电路中 获得广泛应用。但是二进制数也有缺点: 用二进制表示一个数时, 位数多, 读写不方便, 而且与人们习惯的计数方法不同, 难记忆。

3 二进制数和十进制数之间的转换

1. 二进制数转换为十进制数

把一个二进制数转换为十进制数的过程很简单, 只要将二进制数按位权形式 展开相加即可。

【例 1.2】 将二进制数 $(10101.110)_2$ 转换成十进制数。

【解答】 $(10101.110)_2 = 1 \times \underline{2^4} + 0 \times \underline{2^3} + 1 \times \underline{2^2} + 0 \times \underline{2^1} + 1 \times \underline{2^0} + 1 \times \underline{2^{-1}} + 1 \times \underline{2^{-2}} + 0 \times \underline{2^{-3}}$
 $= (21.75)_{10}$

2. 十进制数转换为二进制数

把十进制数转换为二进制数最常用的方法有降幂法和除法两种, 下面分别介 绍这两种方法。

(1) 降幂法

下面通过一个例子来说明降幂法的实施步骤。

【例 1.3】 将十进制数 27 转换成二进制数。

【解答】 ① 首先写出所有小于 27 的二进制位权。

$$2^4=16<27 \quad 2^3=8<27 \quad 2^2=4<27 \quad 2^1=2<27 \quad 2^0=1<27$$

② 用 27 减去数值最大的二进制位权,如果差值是正数,则在这一位记“1”并用差值继续减数值第二大的二进制位权;如果差值是负数,则在这一位记“0”并跳过这一步,用上一次的差值继续减数值第二大的二进制位权。

$$27-2^4=27-16=11 \quad \text{差值为正所以这一位为“1”}$$

③ 继续用差值减数值第二大的二进制位权,规则同②,直到差值为 0。

$$11-2^3=11-8=3 \quad \text{差值为正所以这一位为“1”}$$

$$3-2^2=3-4=-1 \quad \text{差值为负所以这一位为“0”}$$

用上一次的差值减下一个位权

$$3-2^1=3-2=1 \quad \text{差值为正所以这一位为“1”}$$

$$1-2^0=1-1=0 \quad \text{差值为正所以这一位为“1”}$$

所以, $(27)_{10} = (11011)_2$ 。

对小数部分的转换,降幂法同样适用,直到小数部分的差值为 0 或者小数部分虽然不为 0,但小数的位数或精度已达到要求。

【例 1.4】 将十进制数 0.8125 转换成二进制数。

$$\text{【解答】} \quad 2^{-1}=0.5 \quad 2^{-2}=0.25 \quad 2^{-3}=0.125 \quad 2^{-4}=0.0625$$

计算过程如下:

$$0.8125-0.5=0.3125 \quad \text{记“1”}$$

$$0.3125-0.25=0.0625 \quad \text{记“1”}$$

$$0.0625-0.125<0 \quad \text{记“0”}$$

$$0.0625-0.0625=0 \quad \text{记“1”}$$

所以, $(0.8125)_{10} = (0.1101)_2$ 。

(2) 除法

用这种方法转换十进制数必须分两步走,要对整数部分和小数部分分别进行计算,最后再相加。

整数部分采用逐次除以 2 取余数的方法,最后一个得到的余数作为二进制数据的整数部分的最高位;小数部分采用逐次乘以 2 取整数的方法,最先得到的整数作为二进制数据的小数部分的最高位。

【例 1.5】 将十进制数 12.625 转换成二进制数。

【解答】 整数部分的转换过程如下: